

Zur Feuchtebestimmung bei Ölfrüchten mittels Trockenschrank

1. Mitteilung: Ermittlung des Wasserabgabeverhaltens verschiedener Sorten von Raps und Sonnenblume im Trockenschrank

H. Gremmel und H. Weingartmann

Moisture determination for oilseed rape and oilseed sunflower

Part 1: Determination of the moisture loss curve for oilseed rape and sunflower seed

1. Einleitung

1.1 Einführung

Der Feuchtegehalt ist eine wichtige Materialeigenschaft, die viele andere Eigenschaften, wie Dichte, Rieselfähigkeit, Lagerfähigkeit u. a., wesentlich beeinflusst. Er gehört somit, wie bei Getreide, bei den Ölsaaten zu den wichtigsten Kriterien für die Ernte und Lagerung sowie im Handel und für die nachfolgende Verarbeitung. Um eine sichere Lagerung zu gewährleisten, darf ein „kritischer Feuchtegehalt“ nicht überschritten werden. Material mit höherem Feuchtegehalt muß getrocknet werden, und damit verbunden entstehen Kosten durch Energieaufwand und Gewichtsverlust. Es ist daher eine möglichst genaue Feuchtebestimmung gefordert, da bei entsprechend großen Handelsmengen ein Prozentsatz von +/- 0,1 % wertmäßig bereits bedeutende Größenordnungen annimmt.

Aufgrund des Zeitdruckes werden im Handel vor allem Schnellfeuchtebestimmer eingesetzt, welche an Hand einer Referenzmethode, zumeist eine Trockenschrankmethode,

überprüft werden. Die Probleme der Feuchtebestimmung bei Ölfrüchten beginnen jedoch schon bei der Auswahl einer geeigneten Referenzmethode aus der großen Zahl der Trockenschrankmethoden für Raps und Sonnenblume.

1.2 Problemstellung

Vor dem Vergleich verschiedener Trockenschrankmethoden waren grundlegende Zusammenhänge zu ermitteln. Die vorliegende Arbeit behandelt daher das Wasserabgabeverhalten von Raps und Sonnenblume im Trockenschrank, um folgende Fragen zu klären:

- Gibt es im Wasserabgabeverhalten der einzelnen Sorten von Raps bzw. Sonnenblume Unterschiede, welche einen Einfluß auf die Gestaltung bzw. Wahl der Trockenschrankmethode haben?
- Wie sehen die Wasserabgabekurven von Raps bzw. Sonnenblume bei verschiedenen Temperaturen, Feuchtegehalten und Korngrößen (nur für Raps) aus bzw. gibt es signifikante Unterschiede?

Summary

This research determined the moisture loss curves for rape and sunflower oilseed. Different temperatures (60° C, 80° C, 103° C, 130° C) moisture content and seed sizes (for rapeseed only) were investigated for different varieties. A function was found for these curves and their parameters were estimated empirically.

The moisture loss curves for different varieties, initial moisture contents and seed sizes did not show any significant difference. However there was a significant difference between different drying temperatures. Each characteristic moisture loss curve at 60° C, 80° C and 103° C drying temperature shows an initial steep slope and reaches depending on temperature more or less rapid a value of zero (= constant weight). In contrast, the curve at 130 °C is steeply sloped initially and keeps rising till the end of the 96 h drying time.

Key words: oilseed rape, sunflower seed, drying, moisture content.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das Feuchteabgabeverhalten bei Raps und Sonnenblume untersucht. Dabei wurde der Kurvenverlauf der Feuchteabgabe für verschiedene Sorten bei den Temperaturen 60° C, 80° C, 103° C und 130° C, bei verschiedenen Anfangsfeuchtegehalten und verschiedenen Korngrößen (nur für Raps) ermittelt. Es konnte für diese Feuchteabgabekurven eine empirische Funktion gefunden werden, deren Parameter empirisch (durch Iteration) geschätzt wurden. Diese Parameter dienen der Charakterisierung des Feuchteabgabeverhaltens.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Feuchteabgabeverhalten der verschiedenen Sorten, den verschiedenen Anfangsfeuchtegehalten und auch nicht zwischen den verschiedenen Korngrößen. Zwischen den verschiedenen Temperaturstufen konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das Feuchteabgabeverhalten bei den Temperaturstufen 60° C, 80° C und 103° C beginnt mit einer steilen Anfangsphase und nähert sich je nach Temperaturstufe mehr oder weniger rasch der Steigung Null (= Gewichtskonstanz). Im Gegensatz dazu behält die Kurve bei 130° C, nach der steilen Anfangsphase, eine steigende Tendenz bei und erreicht im untersuchten Trocknungszeitraum von 96 Stunden keine Gewichtskonstanz. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für die Bewertung von Standardmethoden.

Schlagerworte: Raps, Sonnenblume, Feuchtegehalt, Trocknungskurven.

2. Material und Methoden

2.1 Material

Die Versuche mit Raps wurden mit Saatgut der Sorten CERES, FALCON und LIRAJET durchgeführt. Dieses hatte den üblichen Lagerfeuchtegehalt von unter 9 % (Naßbasis). Bei den Versuchen mit Sonnenblume wurde Lagerhausware der Sorten FRANKASOL und EUROSOL verwendet, da Saatgut nur in gebeiztem Zustand erhältlich ist. Der jeweilig erforderliche Feuchtegehalt wurde entweder durch Trocknen an der Umgebungsluft oder durch Wiederbefeuchten mit destilliertem Wasser und anschließender Lagerung zur Homogenisierung der Probe eingestellt. Diese Ausgleichszeit betrug für Raps mindestens 12 Stunden und für Sonnenblume mindestens 24 Stunden.

Für Raps wurde die zum Teil erforderliche Auftrennung in die gewünschten Korngrößen mittels einer Laborsiebmaschine vom Typ JEL Prüfsieb 2000 mit Sieben von 2,0 mm und 1,8 mm Maschenweite vorgenommen. Nach der Siebung folgte eine Ausgleichszeit von mindestens 12 Stunden.

2.2 Versuchsdurchführung

Als Wasserabgabekurve wird hier der Verlauf des Gewichtsverlustes – bezogen auf die Trockensubstanz – durch Trocknung im Trockenschrank während einer Trocknungszeit von 96 Stunden bezeichnet.

Die Versuchspläne zur Ermittlung dieser Wasserabgabekurven sind für Raps in Tabelle 1 und für Sonnenblume in Tabelle 2 dargestellt. Für Raps wurden zur Ermittlung eines Sorteneinflusses die Kurven der Sorten CERES, FALCON und LIRAJET bei den Temperaturen 60° C, 80° C, 103° C und 130° C mit je 5 bzw. 6 Wiederholungen aufgenommen (Versuch A). Als Material wurde Saatgut mit der üblichen Lagerfeuchte von unter 9 % (Naßbasis) verwendet.

Weitere Kurven wurden noch mit Material der Sorte CERES aufgenommen und dienen zur Prüfung auf Unterschiede im Wasserabgabeverhalten, bedingt durch unterschiedliche Ausgangsfeuchte (Versuch B) bzw. durch verschiedene Korngrößen (Versuch C). Die notwendigen

Tabelle 1: Versuchsplan – Wasserabgabekurve von Raps

Table 1: Experimental plan – moisture loss curve of rapeseed

Versuch	Sorte	Feuchte- stufe	Temperatur (° C)			
			60	80	103	130
A	Ceres	niedrig	5 ¹⁾	6	6	5
	Falcon		5	6	6	6
	Lirajet		5	6	5	6
B	Ceres	niedrig	–	–	6	5
		mittel	–	–	6	6
		hoch	–	–	6	6
C	Ceres > 2 mm	niedrig	–	–	5	–
	1,8–2 mm		–	–	5	–
	< 1,8 mm		–	–	5	–

1) Zahl der Wiederholungen

Tabelle 2: Versuchsplan – Wasserabgabekurve von Sonnenblume
 Table 2: Experimental plan – moisture loss curve of sunflower

Versuch	Sorte	Feuchte- stufe	Temperatur (° C)			
			60	80	103	130
A	Eurosol	niedrig	6	6	6	6
	Frankasol		6	6	6	6
B	Frankasol	niedrig	–	–	6	6
		mittel	–	–	6	6
		hoch	–	–	6	6

Feuchtegehalte von 5 %, 10 % und 20 % wurden durch Trocknen an der Umgebungsluft bzw. durch Wiederbefeuchten eingestellt.

Gleichbleibende Luftfeuchtigkeit wurde dadurch gewährleistet, daß die Proben in geschlossenen Glasgefäßen über einer Schicht Molekularsieb für die Aufnahme des entweichenden Wassers im Trockenschrank getrocknet wurden. Zur Auskühlung vor der Gewichtsbestimmung lagerten die Proben einzeln in gleich aufgebauten Gefäßen ebenfalls über Molekularsieb. Die Gewichtsbestimmung erfolgte anfangs stündlich nach 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 Stunden Trocknung, danach täglich bis zur Trocknungsendzeit von 96 Stunden.

Für Sonnenblume wurde Versuch A mit den Sorten FRANKASOL und EUROSOL in der gleichen Weise wie oben für Raps beschrieben angelegt. Versuch B, die Ermittlung von Kurven mit unterschiedlichem Anfangsfeuchtegehalt, wurde mit Material der Sorte FRANKASOL durchgeführt.

2.3 Statistische Auswertung

Für die Auswertung der Wasserabgabekurven wurde nicht der Feuchtegehalt nach der jeweiligen Trocknungszeit sondern der Kurvenverlauf des Feuchteverlustes verglichen. Die mathematische Beschreibung der Wasserabgabekurven erfolgte mit einer empirisch ermittelten Funktion, deren Parameter mit Hilfe der Nichtlinearen-Regressionsanalyse (durch Iteration) für jede Kurve/ Wiederholung geschätzt wurden. Diese Parameter dienten dann zum Vergleich des Kurvenverlaufes und wurden über eine Varianzanalyse und einen Mittelwertvergleich (Scheffé) ausgewertet. Die Varianzhomogenität war nach „Cochran's C test“ bzw. „Bartlett's test“, außer in einem Fall, immer gegeben.

3 Darstellung und Diskussion der Versuchsergebnisse

3.1 Verlauf der Trocknungskurven

Anmerkung: Alle Feuchtwerte in diesem Versuchsteil beziehen sich auf Trockenmassebasis (F_T).

Versuch A: Verschiedene Temperaturstufen und verschiedene Sorten

Es konnten keine Sortenunterschiede nachgewiesen werden, daher wurde der Kurvenverlauf des Mittelwertes aus den Messungen aller Sorten in einer Temperaturstufe dargestellt. Dieses Ergebnis ist in den Abbildungen 1 und 2 zu sehen. Auf die Wiedergabe der den Grafiken zugrunde liegenden Werte wurde aus Platzgründen verzichtet, sie sind bei GREMME (1993) aufgelistet.

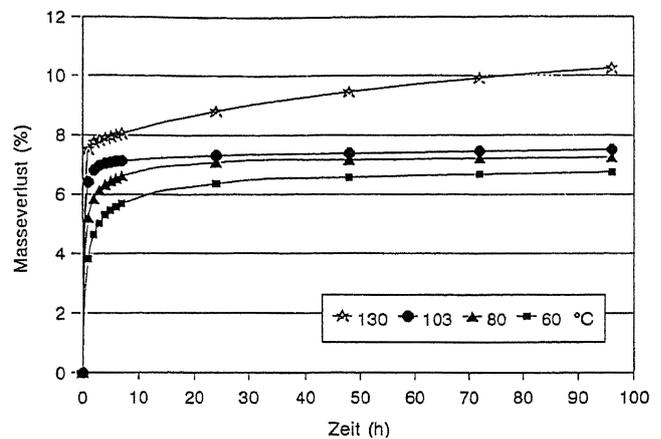


Abbildung 1: Wasserabgabekurven von Raps – Versuch A: Verschiedene Temperaturstufen

Figure 1: Moisture loss curves for rapeseed – Experiment A: different temperatures

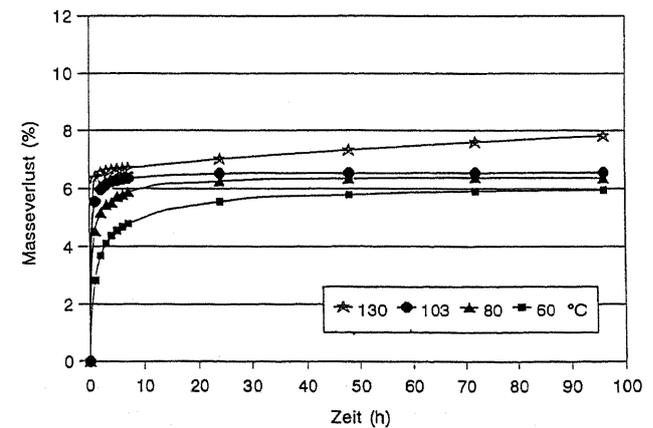


Abbildung 2: Wasserabgabekurven von Sonnenblume – Versuch A: Verschiedene Temperaturstufen

Figure 2: Moisture loss curves for sunflower – Experiment A: different temperatures

In diesem Versuch zeigten Raps und Sonnenblume annähernd das gleiche Verhalten:

Für die Temperaturstufen 60° C, 80° C und 103° C verläuft der Masseverlust über die Trocknungszeit relativ ähnlich. Die Steilheit der Kurven im Anfangsbereich nimmt mit steigender Temperatur zu und verursacht unterschiedliche Werte bei gleicher Trocknungszeit. Mit fortschreitender Zeit verringert sich die Steigung der Kurven gegen Null. Eine Steigung mit dem Wert Null bedeutet für diese Trocknungskurven das Erreichen von Gewichtskonstanz.

Bei niedriger Temperatur erfolgt die Näherung zur Gewichtskonstanz langsamer, wodurch die Differenzen zwischen den Kurven der Temperaturstufen wieder geringer werden.

Der Kurvenverlauf in der Temperaturstufe 130° C hat den steilsten Anstieg (schnellsten Masseverlust). Im Gegensatz zu den anderen Temperaturstufen bleibt die Tendenz der Wasserabgabekurve auch nach 96 Stunden Trocknungszeit noch steigend, das heißt eine Gewichtskonstanz ist nicht abzusehen.

Versuch B: Verschiedene Feuchtestufen

Der Masseverlust zeigt – für die gleichen Temperaturstufen – in allen Feuchtestufen den gleichen Verlauf. Für Raps ist dies aus Abbildung 3 und Abbildung 5 ersichtlich und für Sonnenblume aus Abbildung 4 und Abbildung 6. Die Kurven stimmen mit dem Ergebnis von Versuch A überein und unterscheiden sich nur durch ihr Feuchteniveau.

Lediglich bei den höheren Feuchtestufen wurde eine höhere Streuung beobachtet.

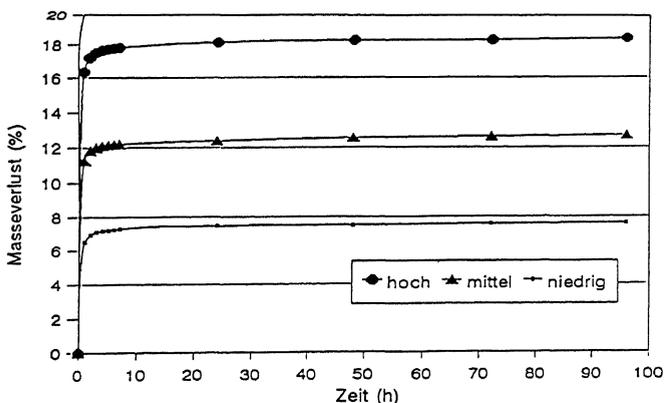


Abbildung 3: Wasserabgabekurven von Raps – Versuch B: Verschiedene Feuchtestufen bei einer Trocknungstemperatur von 103° C

Figure 3: Moisture loss curves for rapeseed – Experiment B: different moisture contents with drying temperature at 103° C

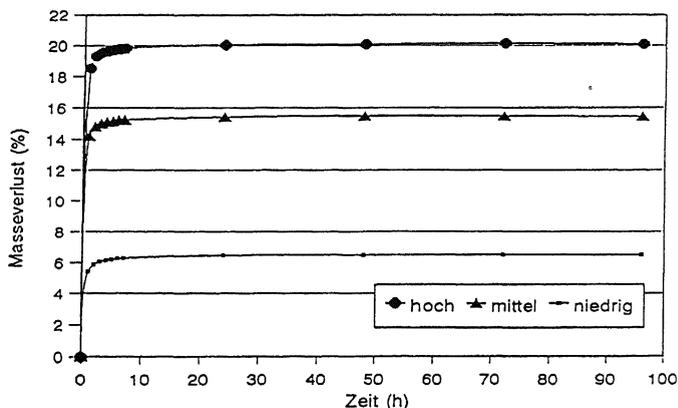


Abbildung 4: Wasserabgabekurven von Sonnenblume – Versuch B: Verschiedene Feuchtestufen bei einer Trocknungstemperatur von 103° C

Figure 4: Moisture loss curves for sunflower – Experiment B: different moisture contents with drying temperature at 103° C

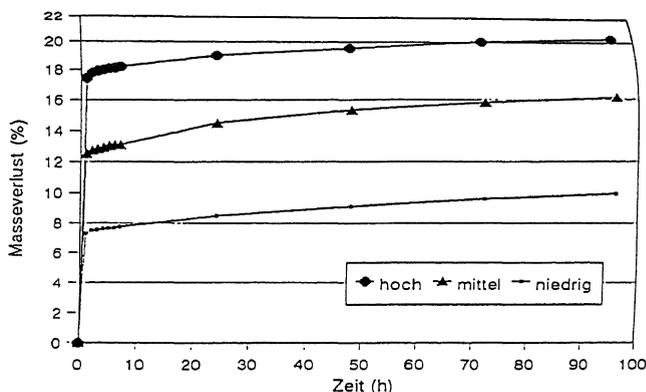


Abbildung 5: Wasserabgabekurven von Raps – Versuch B: Verschiedene Feuchtestufen bei einer Trocknungstemperatur von 130° C

Figure 5: Moisture loss curves for rapeseed – Experiment B: different moisture contents with drying temperature at 130° C

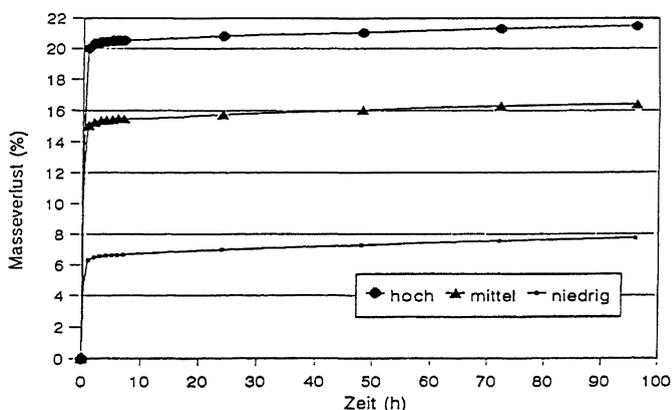


Abbildung 6: Wasserabgabekurven von Sonnenblume – Versuch B: Verschiedene Feuchtestufen bei einer Trocknungstemperatur von 130° C

Figure 6: Moisture loss curves for sunflower – Experiment B: different moisture contents with drying temperature at 130° C

Versuch C: Verschiedene Korngrößen

Das Ergebnis dieses Versuches ist in Abbildung 7 zu sehen.

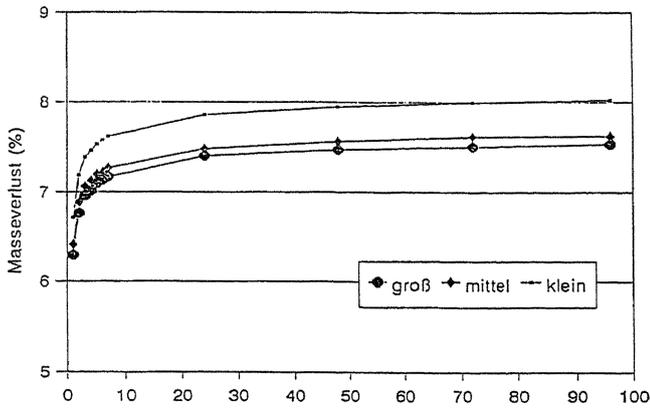


Abbildung 7: Wasserabgabekurven von Raps – Versuch C: Verschiedene Korngrößen bei einer Trocknungstemperatur von 103 °C

Figure 7: Moisture loss curves for rapeseed – Experiment C: different kernel sizes with drying temperature at 103 °C

Der Verlauf der Trocknungskurven ist für alle 3 Korngrößen gleich und stimmt mit der entsprechenden Kurve in Versuch A überein. Die Kurven der einzelnen Korngrößen unterscheiden sich nur in ihrem Feuchteniveau und zeigen somit ein ähnliches Bild wie Versuch B. Der Unterschied im Feuchtegehalt ergibt sich aus der Abhängigkeit der Korngröße vom Feuchtegehalt. Diese Abhängigkeit ist bei KUTZBACH und SCHERER (1978) beschrieben.

3.2 Empirische Funktion der Wasserabgabekurven

3.2.1 Entwicklung der Formel

Zur Beschreibung der Wasserabgabekurve wurde empirisch folgende Formel entwickelt:

$$y = P1 \cdot t^{(P2 \cdot t^{P3})}$$

- y Masseverlust (%)
- t (Trocknungs)zeit (h)
- P1, P2, P3 Parameter

Als Einheiten werden für den Masseverlust Prozent (%) und für die Zeit Stunden (h) festgelegt, die Parameter werden dimensionslos behandelt.

Die Verwendung der Funktion als Trocknungskurve bedingt folgende Festlegung: Es sind als Trocknungszeit t

nur Werte $t > 0$ erlaubt und für die Trocknungszeit $t = 0$ wird $y = 0$ definiert.

Die Parameter P1, P2 und P3 wurden mittels Nichtlinearer-Regressionsanalyse (durch Iteration) geschätzt, wobei die Kurvenanpassung mit einem R^2 von 0,95 bis 0,99 sowohl für Raps als auch Sonnenblume durchwegs sehr gut ist. Die Mittelwerte der geschätzten Parameter für die verschiedenen Temperaturstufen für Raps sind in Tabelle 3 angeführt. (Die geschätzten Parameter der übrigen Versuche können aus Platzgründen nicht angeführt werden, sie sind bei GREMME, 1993 nachzulesen.)

Tabelle 3: Mittelwerte der geschätzten Parameter für Raps – Versuch A: Verschiedene Temperaturstufen und verschiedene Sorten
Table 3: Averages of the parameters for rapeseed – Experiment A: different temperatures and varieties

Temperatur (° C)	Sorte	P1	s	P2	s	P3	s
60	Ceres	3,971	0,1206	0,292	0,0106	-0,195	0,0239
	Falcon	4,151	0,1101	0,322	0,0128	-0,195	0,0070
	Lirajet	3,731	0,0624	0,300	0,0031	-0,198	0,0257
	Gesamt	3,951	0,1995	0,305	0,0160	-0,196	0,0207
80	Ceres	5,422	0,1039	0,187	0,0093	-0,216	0,0135
	Falcon	4,977	0,0475	0,194	0,0075	-0,207	0,0276
	Lirajet	5,252	0,0717	0,172	0,0141	-0,196	0,0098
	Gesamt	5,217	0,1990	0,184	0,0140	-0,206	0,0204
103	Ceres	6,557	0,0525	0,088	0,0027	-0,221	0,0047
	Falcon	6,370	0,1146	0,077	0,0085	-0,209	0,0217
	Lirajet	6,489	0,0854	0,072	0,0108	-0,177	0,0228
	Gesamt	6,471	0,1186	0,079	0,0102	-0,204	0,0255
130	Ceres	7,323	0,0982	0,019	0,0031	0,277	0,0235
	Falcon	8,059	0,0850	0,023	0,0019	0,227	0,0203
	Lirajet	7,255	0,0747	0,026	0,0022	0,226	0,0168
	Gesamt	7,559	0,3803	0,023	0,0035	0,242	0,0305

In Parameter P1 schlägt sich der Feuchtegehalt der Probe nieder. Wie aus der Formel ersichtlich, entspricht er dem Masseverlust (Feuchtwert), der sich nach einer Stunde Trocknung ($t = 1$) ergibt. Dieser wird mit steigender Temperatur größer (Tabelle 3).

Um den Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auszuschalten und nur die Auswirkungen der Parameter P2 und P3 auf den Kurvenverlauf darzustellen, wird die Funktion durch Parameter P1 dividiert. Auf den Ordinaten von Abbildung 8 und Abbildung 9 wird daher der Masseverlust/P1 aufgetragen. Die so erhaltene Kurve verläuft immer durch den Punkt mit den Koordinaten (1/1).

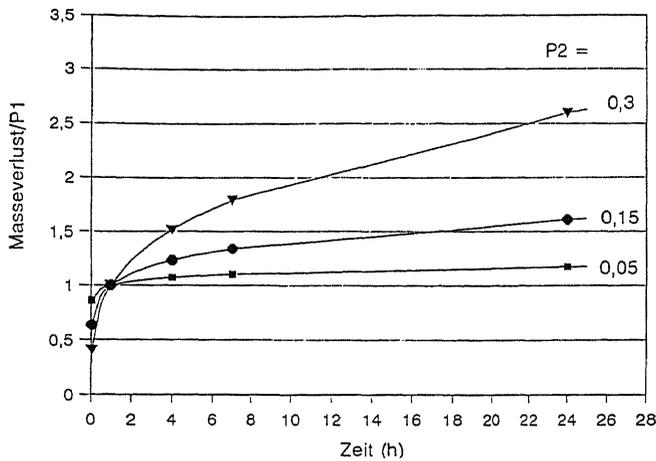


Abbildung 8: Einfluß von Parameter P2 auf den Kurvenverlauf; Parameter P3 ist 0 gesetzt
 Figure 8: Influence of parameter P2 on the curve; parameter P3 = 0

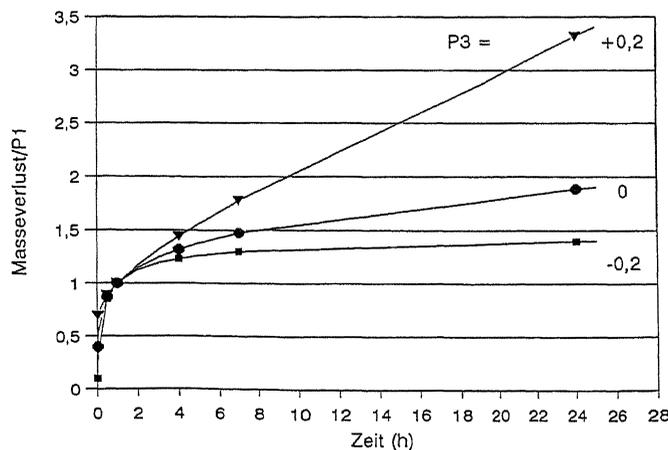


Abbildung 9: Einfluß von Parameter P3 auf den Kurvenverlauf; Parameter P2 ist 0,2 gesetzt
 Figure 9: Influence of parameter P3 on the curve, parameter P2 = 0,2

Parameter P2 ist bei den ermittelten Wasserabgabekurven positiv und kleiner 1. Er liegt je nach Temperaturstufe ungefähr zwischen + 0,01 und + 0,4, wobei der Wert mit steigender Temperatur abnimmt (Tabelle 3).

Um die Auswirkung von Parameter P2 auf den Kurvenverlauf darzustellen, wurde in Abbildung 8 Parameter P3 auf den Wert 0 gesetzt und Parameter P2 variiert. Es zeigt sich, daß mit steigendem Wert von Parameter P2 die Kurve steiler verläuft. In dieser von Parameter P1 und P3 isolierten Betrachtung würde dies bedeuten, daß mit steigender Temperatur die Kurve flacher bzw. bei geringerer Temperatur steiler verlaufen würde. Tatsächlich bleibt bei einer Temperatur von 60 °C eine gewisse Steigung relativ lange erhalten, wenn auch die Kurve durch den kleineren Parameter

P1 insgesamt niedrigere Werte aufweist. Dies bedeutet, daß der Masseverlust (die Feuchteabgabe) bei niedriger Temperatur langsamer vor sich geht.

Parameter P3 nimmt für die Trocknungstemperaturen 60° C, 80° C und 103° C Werte im negativen Bereich zwischen - 0,27 und - 0,15 an, wodurch eine Degression der Kurve bewirkt wird. Für die Kurven der Temperaturstufe 130° C liegen die Werte von Parameter P3 im positiven Bereich zwischen + 0,15 und + 0,30. Dies hat einen steigenden Kurvenverlauf zur Folge, wodurch theoretisch keine Gewichtskonstanz erreicht wird. Unter Gewichtskonstanz wird in diesem Kapitel die Annäherung der Kurve an die Waagrechte (d. h. Steigung 0) verstanden.

Die Wirkung von Parameter P3 auf den Kurvenverlauf ist in Abbildung 9 dargestellt. Dazu wird Parameter P2 konstant auf den Wert + 0,2 gesetzt und Parameter P3 variiert. Auch hier wird die Kurve mit steigendem Wert von Parameter P3 steiler.

Der Punkt mit einer Steigung 0 kann theoretisch mittels der Differentialgleichung (1. Ableitung) folgendermaßen berechnet werden:

Formel:

$$y = P1 \cdot t^{(P2 \cdot t^{P3})}$$

Ableitung:

$$y' = P1 \cdot t^{(P2 \cdot t^{P3})} \cdot [P2 \cdot P3 \cdot t^{(P3-1)} \cdot \ln t + P2 \cdot t^{(P3-1)}] = 0$$

t-Koordinate des Punktes
 mit der Steigung 0: $t_0 = e^{(-1/P3)}$

Nach dieser Formel hängt das Erreichen der Gewichtskonstanz nur von Parameter P3 ab und bewirkt bei negativem Vorzeichen eine Degression der Kurve. Brauchbare t-Koordinaten (Trocknungszeiten) ergeben sich aber nur für Parameter P3 mit negativem Vorzeichen, zum Beispiel für P3 von - 0,2 errechnet sich ein t_0 von ca. 148 Stunden.

Diese Betrachtungen weisen auf die Möglichkeit einer kurzen Trocknungszeit mit anschließender Errechnung der Feuchtwerte für die theoretischen Trocknungszeiten hin. Dazu sind jedoch noch umfangreiche Untersuchungen durchzuführen, um die Werte der Parameter weiter abzusichern und die notwendigen Einschränkungen zu treffen. So müßte der Bereich $t > t_0$ zum Beispiel ausgeschlossen werden, da die Kurve in diesem Abschnitt eine negative Steigung aufweist und somit eine für Trocknungskurven unrealistische Gewichtszunahme bedeutet.

3.2.2 Ergebnisse der statistischen Analyse der Parameter für den Vergleich des Kurvenverlaufes

Für die Erfassung des Einflusses von Sorte, Temperatur, Feuchtegehalt und die Korngröße auf den Trocknungsverlauf wurde der Kurvenverlauf analysiert. Dafür wurden Parameter P2 und P3 varianzanalytisch ausgewertet, P1 beinhaltet den Anfangsfeuchtegehalt und konnte dafür nicht herangezogen werden.

Versuch A: Sorteneinfluß

Sowohl bei Raps als auch bei Sonnenblume unterscheiden sich die Mittelwerte von Parameter P2 und auch von Parameter P3 nicht signifikant zwischen den einzelnen Sorten. Es ist daher kein Einfluß der Sorte auf den Verlauf der Wasserabgabekurven festzustellen (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 4: Einfluß der Sorte auf die Parameter bei Raps
Table 4: Influence of variety on parameters for rapeseed

Parameter	Sorte	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	Ceres	0,146	0,0218	0,105	0,187	*
	Falcon	0,147	0,0239	0,107	0,186	*
	Lirajet	0,138	0,0227	0,098	0,179	*
P3	Ceres	-0,101	0,0449	-0,176	-0,025	*
	Falcon	-0,092	0,0406	-0,165	-0,018	*
	Lirajet	-0,077	0,0408	-0,152	-0,002	*

Tabelle 5: Einfluß der Sorte auf die Parameter bei Sonnenblume
Table 5: Influence of variety on parameters for sunflower

Parameter	Sorte	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	Eurosol	0,174	0,0291	0,132	0,215	*
	Frankasol	0,186	0,0292	0,145	0,228	*
P3	Eurosol	-0,092	0,0495	-0,156	-0,027	*
	Frankasol	-0,111	0,0411	-0,176	-0,047	*

Versuch A: Temperatureinfluß

Die Parameter P2 der einzelnen Temperaturstufen unterscheiden sich signifikant sowohl bei Raps als auch bei Sonnenblume. Parameter P2 verringert sich mit steigender Temperatur, die Kurve nähert sich früher der Waagrechten, das bedeutet die Feuchteabgabe geht schneller vor sich.

Parameter P3 liegt für die Temperaturstufen 60° C, 80° C und 103° C bei Raps im negativen Bereich und zeigt keinen signifikanten Unterschied. Die signifikante Abweichung

für 103° C bei Sonnenblume kann eventuell darauf zurückgeführt werden, daß in diesem Fall die Varianzhomogenität nicht gegeben war. Für die Temperaturstufe von 130° C ist Parameter P3 positiv und weicht sowohl bei Raps als auch bei Sonnenblume signifikant von den Temperaturstufen 60° C, 80° C und 103° C ab (Tabelle 6 und Tabelle 7).

Tabelle 6: Einfluß der Temperatur auf die Parameter bei Raps
Table 6: Influence of temperature on parameters for rapeseed

Parameter	Temperatur	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	60	0,305	0,0043	0,298	0,311	*
	80	0,184	0,0034	0,178	0,190	*
	103	0,079	0,0025	0,073	0,085	*
	130	0,024	0,0008	0,017	0,029	*
P3	60	-0,196	0,0055	-0,211	-0,181	*
	80	-0,206	0,0049	-0,220	-0,193	*
	103	-0,204	0,0064	-0,218	-0,190	*
	130	0,242	0,0076	0,228	0,256	*

Tabelle 7: Einfluß der Temperatur auf die Parameter bei Sonnenblume
Table 7: Influence of temperature on parameters for sunflower

Parameter	Temperatur	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	60	0,392	0,0068	0,381	0,403	*
	80	0,201	0,0051	0,189	0,212	*
	103	0,115	0,0026	0,103	0,126	*
	130	0,012	0,0009	0,001	0,024	*
P3	60	-0,198	0,0027	-0,217	-0,179	*
	80	-0,218	0,0025	-0,238	-0,199	*
	103	-0,261	0,0024	-0,281	-0,242	*
	130	0,272	0,0145	0,253	0,291	*

Die Werte der Parameter P2 und P3 in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt.

Die Wasserabgabekurven in den einzelnen Temperaturstufen unterscheiden sich somit signifikant voneinander. Bei den Temperaturen 60° C, 80° C und 103° C nähern sich die Kurven im untersuchten Trocknungszeitraum der sogenannten Gewichtskonstanz (theoretisch zu erkennen an den negativen Parametern P3), bei 130° C hingegen nicht (positiver Parameter P3). Dies gilt sowohl bei Raps als auch bei Sonnenblume.

Versuch B: Feuchtestufen

Das Wasserabgabeverhalten von Raps beziehungsweise Sonnenblume bei unterschiedlicher Ausgangsfeuchte, zeigt

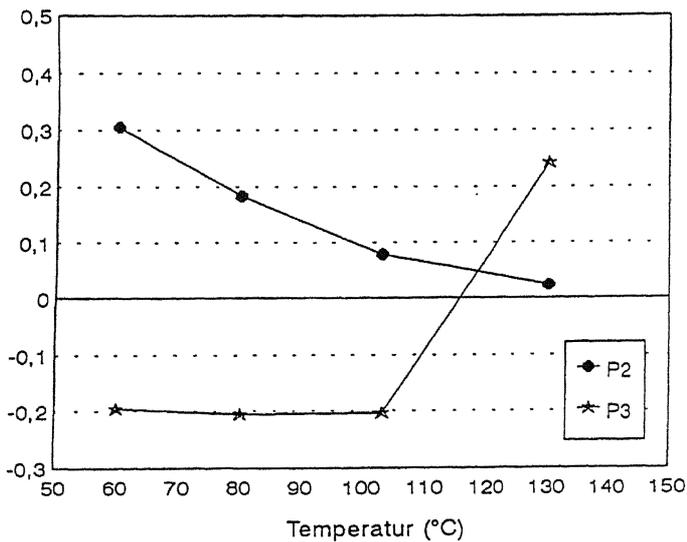


Abbildung 10: Werte der Parameter P2 und P3 für Raps in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur
 Figure 10: Value of parameter P2 and parameter P3 for rapeseed depending on the drying temperature

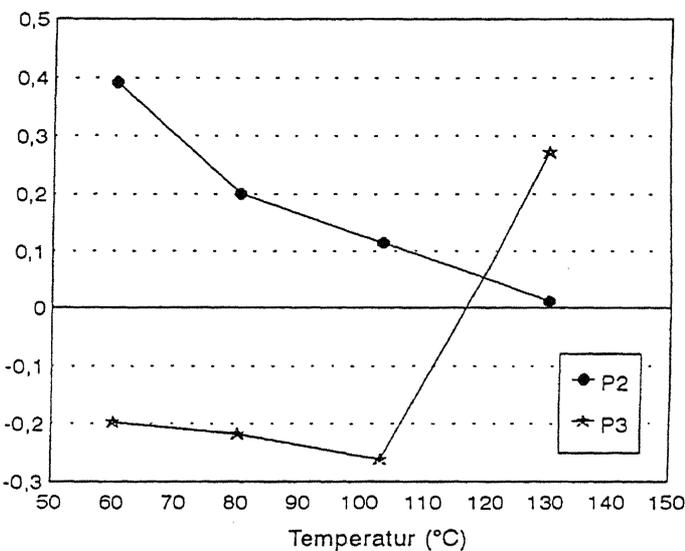


Abbildung 11: Werte der Parameter P2 und P3 für Sonnenblume in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur
 Figure 11: Value of parameter P2 and parameter P3 for sunflower depending on the drying temperature

sowohl in Parameter P2 als auch in Parameter P3 keine signifikanten Differenzen, und die Wertebereiche dieser Parameter (Tabelle 8 und Tabelle 9) stehen im Einklang mit den Ergebnissen aus Versuch A. Es besteht daher kein Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf das Wasserabgabeverhalten von Raps und Sonnenblume.

Tabelle 8: Einfluß der Feuchtstufe auf die Parameter bei Raps
 Table 8: Influence of moisture content on parameters for rapeseed

Parameter	Feuchtstufe	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	niedrig	0,057	0,0108	0,038	0,075	*
	mittel	0,040	0,0061	0,023	0,058	*
	hoch	0,042	0,0079	0,024	0,059	*
P3	niedrig	0,005	0,0787	-0,134	0,144	*
	mittel	-0,003	0,0600	-0,136	0,130	*
	hoch	-0,036	0,0598	-0,170	0,097	*

Tabelle 9: Einfluß der Feuchtstufe auf die Parameter bei Sonnenblume
 Table 9: Influence of temperature on parameters for sunflower

Parameter	Feuchtstufe	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	niedrig	0,068	0,0160	0,048	0,088	*
	mittel	0,035	0,0077	0,014	0,055	*
	hoch	0,033	0,0073	0,013	0,053	*
P3	niedrig	-0,014	0,0730	-0,131	0,101	*
	mittel	-0,062	0,0619	-0,178	0,054	*
	hoch	-0,081	0,0565	-0,197	0,035	*

Versuch C: Korngrößeneinfluß

Die Parameterauswertung zeigte keine signifikanten Unterschiede der Werte von Parameter P2 bzw. Parameter P3 zwischen den einzelnen Korngrößen von Raps (Tabelle 10).

Tabelle 10: Einfluß der Korngröße auf die Parameter bei Raps
 Table 10: Influence of kernel size on parameters for rapeseed

Parameter	Korngröße	\bar{x}	s_x	Konfidenzintervall (95 Prozent)		Homogene Gruppen
P2	groß	0,101	0,0013	0,097	0,105	*
	mittel	0,095	0,0012	0,092	0,099	*
	klein	0,095	0,0029	0,091	0,099	*
P3	groß	-0,217	0,0039	-0,227	-0,206	*
	mittel	-0,214	0,0053	-0,224	-0,203	*
	klein	-0,208	0,0047	-0,218	-0,198	*

Es wurde somit kein Einfluß der Korngröße auf das Wasserabgabeverhalten bei Raps festgestellt.

4. **Schlusfolgerungen**

Die einzelnen Sorten von Raps und Sonnenblumen, der Anfangsfeuchtegehalt und die Korngrößen haben keinen Einfluß auf das Wasserabgabeverhalten und sind daher für die Gestaltung der Trockenschrankmethoden nicht zu berücksichtigen.

Es unterscheidet sich jedoch das Wasserabgabeverhalten von Raps und Sonnenblume in den Temperaturstufen 60° C, 80° C, 103° C von der Temperaturstufe 130° C gravierend dadurch, daß bei 130° C keine Gewichtskonstanz erreicht wird. Dies ist ein Hinweis auf Masseverluste, die nicht dem Feuchtegehalt zuzurechnen sind. Dies sollte daher bei der Auswahl der Trockenschrankmethode berücksichtigt werden.

Anhand der vorangegangenen mathematischen Beschreibung des Masseverlustes in Abhängigkeit von der Trocknungszeit, ergeben sich neue Möglichkeiten in der Feuchtebestimmung von Raps und Sonnenblume. Über eine kurzzeitige Trocknung ist die Berechnung des Masseverlustes (Feuchtwertes) zu verschiedenen Trocknungszeiten möglich. Für die praktische Anwendung dieser „Schnellschätzung“ in der Feuchtebestimmung bzw. bei Trocknungsversuchen sind jedoch noch umfangreiche Untersuchungen durchzuführen, um die Abhängigkeit des Parameters P2 von der Temperatur zu erfassen, sowie den Einfluß weiterer Umgebungsbedingungen (Trocknungsbedingungen) auf die Parameter dieser Funktion zu ermitteln.

Literatur

- GREMMEL, H. (1993): Feuchtebestimmung bei Ölfrüchten – Ein Vergleich von verschiedenen Trockenschrankmethoden für Raps und Sonnenblume. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien.
- KUTZBACH, H. D. und R. SCHERER (1978): Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten. Grundlagen der Landtechnik, Bd. 28 (1): 6–12.

Anschrift der Verfasser

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. Hildegard Gremmel und Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Herbert Weingartmann, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur, Nußdorfer Lände 29–31, A-1190 Wien.

Eingelangt am 24. Juni 1998

Angenommen am 14. September 1998